



66411-074

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In the Application of: ) PATENT  
A. WAHLROOS ) Group Art Unit: 2836  
Serial No.: 10/686,778 ) Examiner: Unassigned  
Filed: October 17, 2003 )

**FOR: METHOD AND ARRANGEMENT FOR REDUCING STRESS IN  
ELECTRICAL NETWORK**

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

February 9, 2004

Mail Stop Patent Application  
Commissioner of Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

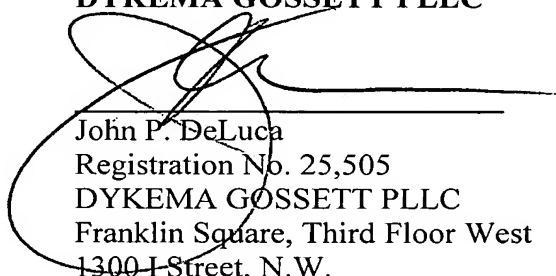
Dear Sir:

A copy of the priority document, Finland Patent Application No. 20011099, filed May 25, 2001, is enclosed.

The Commissioner is authorized to charge any additional fees to Deposit Account 04-2223 or credit any overpayment in connection with this filing.

Respectfully submitted,

**DYKEMA GOSSETT PLLC**

  
John P. DeLuca  
Registration No. 25,505  
DYKEMA GOSSETT PLLC  
Franklin Square, Third Floor West  
1300 I Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3306  
(202) 906-8600

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS  
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

Helsinki 14.10.2003

ETUOIKEUSTODISTUS  
PRIORITY DOCUMENT



Hakija  
Applicant

ABB Substation Automation Oy  
Vaasa

Patenttihakemus nro  
Patent application no

20011099 (pat.111200)

Tekemispäivä  
Filing date

25.05.2001

Kansainvälinen luokka  
International class

H02H 7/00

Keksinnön nimitys  
Title of invention

**"Menetelmä ja sovitelma sähköverkon raskautusten pienentämiseksi"**

Hakemus on patenttidiaariin 15.10.2002 tehdyn merkinnän mukaan siirtynyt **ABB Oy**:lle, kotipaikka Helsinki.

The application has according to an entry made in the register of patents on 15.10.2002 been assigned to **ABB Oy, Helsinki**.

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

  
Pirjo Kaila  
Tutkimussihteeri

Maksu 50 €  
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

---

Osoite:	Arkadiankatu 6 A	Puhelin:	09 6939 500	Telefax:	09 6939 5328
	P.O.Box 1160	Telephone:	+ 358 9 6939 500	Telefax:	+ 358 9 6939 5328
	FIN-00101 Helsinki, FINLAND				

## Menetelmä ja sovitelma sähköverkon rasitusten pienentämiseksi

Keksinnön kohteena on menetelmä sähköverkon rasitusten pienentämiseksi, jossa menetelmässä minimoidaan jännitteelliseen sähköverkkoon kytkettävän verkkokomponentin tai verkon osan aiheuttamaa kytkentävirtasysäystä, joka verkkokomponentti tai verkon osa erotetaan jännitteellisestä sähköverkosta avaamalla katkaisija ja joka verkkokomponentti tai verkon osa kytketään osaksi jännitteellistä sähköverkkoa sulkemalla katkaisija.

Edelleen keksinnön kohteena on sovitelma sähköverkon rasitusten pienentämiseksi, johon sovitelmaan kuuluu katkaisija ja joka sovitelma on sovitettu minimoimaan jännitteelliseen sähköverkkoon kytkettävän verkkokomponentin tai verkon osan aiheuttamaa kytkentävirtasysäystä, joka verkkokomponentti tai verkon osa on sovitettu erotettavaksi jännitteellisestä sähköverkosta avaamalla katkaisija ja joka verkkokomponentti tai verkon on sovitettu kytkettäväksi osaksi jännitteellistä sähköverkkoa sulkemalla katkaisija.

Sähköverkkoon liitettyjen komponenttien, kuten esimerkiksi tehomuuntajien, kompensointikondensaattorien tai imupiirien, suojaukseen sähköverkoissa esiintyviltä vioilta, kuten esimerkiksi oikosuluilta ja maasuluilta, käytetään verkon tilaa valvovia suojalaitteita eli suojareleitä. Vian havaittuaan suojareleet erottavat suojattavan komponentin tai suojattavan verkon osan muusta verkosta avaamalla katkaisijan, jolloin jännitteen ja virran syöttö suojattavalle komponentille tai suojattavalle verkon osalle keskeytyy. Pikajälleenkytkennässä syöttö keskeytetään eli katkaisija avataan lyhyeksi ajaksi, esimerkiksi muutamaksi sekunnin kymmenykseksi, minkä ajanjakson jälkeen katkaisija ohjataan uudestaan kiinni. Mikäli vika ei tänä aikana ole hävinnyt, tehdään aikajälleenkytkentä, eli katkaisija ohjataan uudestaan auki tyypillisesti noin 1 - 3 minuutiksi, minkä jälkeen katkaisija ohjataan uudestaan kiinni. Katkaisija voidaan luonnollisesti aukaista myös muun syyn kuin verkossa olevan vian vuoksi. Kun tehomuuntajia ja kondensaattoreita kytketään takaisin verkkoon voi katkaisijan kiinnikytkeä johtaa huomattavaan muuntajan tai kompensointikondensaattorin kytkentävirtasysäykseen, mikäli muuntajan, kondensaattorin tai imupiirien sisäinen tila on epäedullinen suhteessa jännitteen vaiheeseen eli jännitteen suuruuteen ja polariteettiin katkaisijan kiinnikytkeähetkellä. Muuntajan yhteydessä sisäisellä tilalla tarkoitetaan katkaisijan aukaisuhetkellä muuntajan sydämeen eri vaiheisiin jääviä remanenssivoita ja kondensaattorin ja imupiirien yhteydessä eri vaiheisiin jäänyttä varausta. Määrää-

vänä tekijänä muuntajaan jäävien remanenssivoiden tai kondensaattoreihin jäävien varausten suhteen on jännitteen arvo virran katkeamishetkellä. Kyt-

kentävirtasysäyksen syntyyn eniten vaikuttavat kaksi tekijää ovat katkaisijan

5 kiinnikytkentähetki ja muuntajan remanenssivuot tai kondensaattorien tai imu-

piirien varaus kytkentähetkellä. Kyt kentävirtasysäys voi aiheuttaa verkon tai

siihen kytkettyjen laitteiden vaurioita sekä suoja-alueiden virheellisiä toimintoja

aiheuttaen turhia jännitteen ja virran katkaisuja mikäli kytkentävirtasysäyksiä ei

oteta huomioon releasetteluissa katkaisijan kiinniohjauksen aikana. Kyt kentä-

10 virtasysäys on merkittävä ongelma erityisesti pikajälleenkytkennöissä. Kon-

densaattoreiden ja imupiirien varaukset purkautuvat ajan kuluessa, mutta kos-

ka varauksen purkautumisen aikavakio on tyypillisesti useita minuutteja, myös

aikajälleenkytkentöjen yhteydessä voi syntyä merkittäviä kytkentävirtasysäyk-

siä.

Kyt kentävirtasysäyksen syntymistä on pyritty estämään tai sen suu-

15 ruutta minimoimaan eri tavoilla. Eräässä tunnetussa ratkaisussa on käytetty

katkaisijan tahdistettua kiinnikytkentää eli tahdistettua katkaisijan kiinnioh-

jausta, missä kytkentähetki pyritään ajoittamaan siten, että kytkentävirtasysäys

minimoituu. Edellytyksenä ratkaisun toimivuudelle on se, että katkaisijan au-

kaisemisen yhteydessä kondensaattoriparistoihin jääneet varaukset ovat ehti-

20 neet purkautua eli että aukikytkenästä on kulunut huomattava aika, tyypilli-

sesti useita minuutteja. Ratkaisu toimii myös silloin, kun katkaisijaa aukiohjat-

taessa syöttövirta on katkennut sopivasti siten, että muuntajaan ei ole jäänyt

remanenssivoita tai että kondensaattoreihin ei ole jäänyt varausta, mikä on

kuitenkin mahdoton tilanne silloin kun käytössä on kolmivaiheinen verkko il-

25 man nollajohdinta.

Eräässä toisessa tunnetussa ratkaisussa käytetään tahdistettua

katkaisijan aukikytkentää, jolloin muuntajan tai kondensaattorin tai imupiirin irtikyt-

30 kentä pyritään sovittamaan tapahtumaan joka kerta samalla hetkellä siten,

että muuntajan sydämeen jäävät remanenssivuot tai kondensaattoreihin jäävät

varaukset jäisivät jokaisessa irtikytkenäissä aina samoihin arvoihin. Valittaes-

sa tällöin kiinnikytkentähetki sopivasti voidaan kytkentävirtasysäyksen synty-

minen minimoida. Ratkaisun ongelmana on kuitenkin se, että optimaalinen

kiinnikytkentähetki, jolla kytkentävirtasysäys minimoituu, pitää määrittää ko-

35 keellisesti kenttäkokeilla. Lisäksi ratkaisu sopii käytettäväksi ainoastaan yksi-

napaisesti ohjattavilla katkaisijoilla, jotta eri vaiheiden auki- ja kiinnikytkentä-

ajankohdat voidaan määrätä itsenäisesti. Edelleen oletus muuntajan rema-

nenssivoiden tai kondensaattorin varauksen jäämisestä vakioarvoihin ei ole realistinen, koska yksittäisen vaiheen virta ei katkea aina välttämättä samalla hetkellä. Ratkaisuun liittyy täten riski, että kokeilemalla määritetty kytkentähetki ei aina olekaan optimaalinen. Koska jännitteen arvo virran todellisella katkeamishetkellä määrää muuntajan remanenssivoiden arvon tai kondensaattoreihin jäävän varauksen arvon, saattaa virran todellisen katkeamishetken siirtyminen johtaa siihen, että kokeilemalla määritetyllä kiinnikytcentähetkellä remanenssivuot vahvistavatkin vaihevoita tai kondensaattorin varaus vahvistuu, minkä seurauksena syntyvän kytkentävirtasysäyksen amplitudi moninkertaistuu.

DE-julkaisussa 19641116 on esitetty ratkaisu muuntajan kytkentävirtasysäyksen pienentämiseksi määrittämällä muuntajan sydämeen katkaisijan aukaisun yhteydessä jäävä remanenssivuo, joka voidaan ottaa huomioon katkaisijan kiinniohjauksessa siten, että muuntajan kytkentävirtasysäys on mahdollisimman pieni. Muuntajan sydämeen jäävän remanenssivuon määrittämiseksi on esitetty kaksi vaihtoehtoista ratkaisua. Ensimmäisessä vaihtoehdossa käytössä on joko ulkoiset tai muuntajan sisäiset jänniteanturit, jotka mittaavat muuntajan sydämeen vaikuttavaa jännitettä, jonka jännitemittauksen perusteella muuntajan sydämeen jäävä remanenssivuo voidaan määrittää.

Ongelmana tässä ratkaisussa on kuitenkin se, että jänniteantureiden sovittaminen muuntajan yhteyteen aiheuttaa lisää sekä laite- että asennuskustannuksia. Toisessa vaihtoehdossa muuntajasta on käytettävissä fysikaalinen muuntajamalli, joka määrittelee yksittäisen muuntajasydämen vuon ajan funktiona. Malli käsittää myös hystereesimallin kuvaamaan muuntajan sydämen magneettivuon tiheyttä magneettikentän voimakkuuden funktiona. Hystereesimalli tarvitaan sen vuoksi, että muuntajan sydämessä kiertävän vuon simuloinnin täytyy seurata hystereesimallia, jotta vuon käyttäytyminen raudassa saadaan laskettua oikein. Muuntajamalliin perustuvassa remanenssivuon määrittämisessä luetaan muistiin tyhjäkäyvän muuntajan jännitteen ja/tai virran arvot kunnes molempien arvot ovat pienentyneet nollaan. Remanenssivuo ilmenee vuon loppuarvona, kun jännite ja virta ovat pienentyneet nollaan. Näitä muistissa olevia arvoja käytetään mallin sisäänmenosuureina. Muuntajan fysikaaliseen malliin perustuvassa remanenssivuon määrittämisessä ongelmana on se, että muuntajan malli on muuntajakohtainen. Lisäksi laskennassa vaadittava alkutila voidaan määrittää vain stationäärisissä olosuhteissa, minkä vuoksi

jännitteen ja/tai virran mittauksesta pitää kerätä muistiin mittausarvoja vähintään yhden verkkojakson ajalta ennen katkaisijan aukaisua.

- 5 Tämän keksinnön tarkoituksena on saada aikaan uudentyyppinen ratkaisu katkaisijan kiinniohjauksen yhteydessä syntyvän kytkentävirtasysäyksen pienentämiseksi.

Keksinnön mukaiselle menetelmälle on tunnusomaista se, että mitataan verkkokomponentin tai verkon osan ainakin yhden vaiheen virtaa, määritetään katkaisijan avauduttua virran katkeamishetki, määritetään katkaisijan optimaalinen kiinnikytkentähetki virran katkeamishetken perusteella ja ohjataan katkaisija kiinni siten, että katkaisija sulkeutuu optimaalisella kiinnikytkentähetkellä.

- 15 Keksinnön mukaiselle sovitelmalle on tunnusomaista se, että sovitelmaan kuuluu edelleen välineet verkkokomponentin tai verkon osan ainakin yhden vaiheen virran mittaamiseksi, välineet katkaisijan avauduttua virran katkeamishetken määrittämiseksi, välineet katkaisijan optimaalisen kiinnikytkentähetken määrittämiseksi virran katkeamishetken perusteella ja välineet katkaisijan kiinniohjaamiseksi siten, että katkaisija sulkeutuu optimaalisella kiinnikytkentähetkellä.

- 20 Keksinnön olennaisen ajatuksen mukaan sähköverkon rasituksia pienennetään minimoimalla jännitteelliseen sähköverkkoon kytkettävän verkkokomponentin tai verkon osan aiheuttamaa kytkentävirtasysäystä tilanteessa, missä verkkokomponentti tai verkon osa ensin erotetaan jännitteellisestä sähköverkosta avaamalla katkaisija ja joka verkkokomponentti tai verkon osa kytketään takaisin osaksi jännitteellistä sähköverkkoa sulkemalla katkaisija.
- 25 Olennaisen ajatuksen mukaan ratkaisussa mitataan verkkokomponentin tai verkon osan ainakin yhden vaiheen virtaa, määritetään katkaisijan avauduttua virran katkeamishetki, määritetään katkaisijan optimaalinen kiinnikytkentähetki virran katkeamishetken perusteella ja ohjataan katkaisija kiinni siten, että katkaisija sulkeutuu optimaalisella kiinnikytkentähetkellä. Keksinnön erään edullisen sovellutusmuodon mukaan sähköverkko on kolmivaiheinen verkko, katkaisija on kolminapaisesti ohjattava, virta mitataan kaikista kolmesta vaiheesta ja kaikkien vaiheiden virtojen katkeamishetkien perusteella määritetään kaikkien vaiheiden virtojen yksi yhteinen laskennallinen katkeamishetki, jonka perusteella määritetään katkaisijan optimaalinen kiinnikytkentähetki.

- 35 Keksinnön etuna on, että hyvin yksinkertaisella tavalla voidaan minimoida verkkokomponentin, kuten muuntajan tai kompensointikondensaatto-

rin, tai verkon osan kytkentävirtasysäys kytkettäessä se takaisin osaksi jännitteellistä sähköverkkoa sulkemalla katkaisija. Katkaisija voidaan avata mielivaltaisella ajanhetkellä eikä mitään tahdistettua katkaisijan aukikytkentää tarvita. Katkaisijan kiinnikytkentähetki tahdistetaan virran todelliseen katkeamishetkeen eikä mihinkään oletettuun ajanhetkeen kuten tahdistetun aukikytkennän yhteydessä, jolloin epäedullisessa tilanteessa saattaakin syntyä huomattavia kytkentävirtasysäyksiä.

Keksintöä selitetään tarkemmin oheisissa piirustuksissa, joissa kuvio 1 esittää kaavamaisesti erästä keksinnön mukaista sovittelmaa erään muuntajan kytkentävirtasysäyksen pienentämiseksi,

kuvio 2 esittää kaavamaisesti erään muuntajan kytkentävirtasysäyksen amplitudia kytkettäessä remanenssivuota omaavaa muuntajaa jännitteelliseen verkkoon eri ajanhetkillä,

kuviot 3a – 3e ja 4a – 4e esittävät kaavamaisesti erään muuntajan vaihevoiden, remanenssivoiden ja kytkentävirtasysäyksen käyttäytymistä suljettaessa katkaisija kytkentävirtasysäyksen syntymisen kannalta sekä optimihetkellä että pahimmalla mahdollisella hetkellä,

kuvio 5 esittää kaavamaisesti erään kondensaattorin kytkentävirtasysäyksen amplitudia kytkettäessä jäännösvarausta omaavaa kondensaattoria jännitteelliseen verkkoon eri ajanhetkillä ja

kuviot 6a – 6e ja 7a – 7e esittävät kaavamaisesti erään kondensaattorin vaihejännitteiden, jäännösvarausten eli jäännösjännitteiden sekä kytkentävirtasysäyksen käyttäytymistä suljettaessa katkaisija kytkentävirtasysäyksen syntymisen kannalta sekä optimihetkellä että pahimmalla mahdollisella hetkellä.

Kuviossa 1 on kaavamaisesti esitetty osa kolmivaiheiseen sähköjakeluverkkoon eli sähköverkkoon kuuluvalla sähköasemalla 1 lähtevästä johtolähdöstä 2. Sähköasema 1 on esitetty kaaviomaisesti katkoviivalla. Yhdeltä sähköasemalta lähtee tyypillisesti useampia johtolähtiä, mutta selvyysden vuoksi kuviossa 1 on esitetty ainoastaan yksi johtolähti. Johtolähti 2 on kolmivaiheinen eli siinä on vaihejohtimet tai vaiheet A, B ja C. Johtolähdössä 2 on katkaisija 3, jonka avulla johtolähti 2 on kytkettävissä jännitteelliseksi sulkemalla katkaisija 3 tai jännitteettömäksi avaamalla katkaisija 3 alan ammattimiehelle sinänsä tunnetulla tavalla. Katkaisija 3 on kolminapaisesti ohjattava katkaisija eli katkaisijalle tulevalle yhdellä ohjauskäskyllä avataan kaikkien kolmen vaiheen A, B ja C syöttö. Kuviossa 1 katkaisija 3 on esitetty aukiasen-

nossa. Kuviossa 1 on edelleen esitetty tehomuuntaja 4 tai muuntaja 4. Muuntaja 4 muuntaa sähköverkon jännitettä jännitetasolta toiselle sinänsä tunnetulla tavalla. Muuntaja 4 on esimerkiksi tyypillinen 20 / 0,4 kV jakelumuuntaja, jonka pienjännitepuolelta lähtee syöttöjohdot esimerkiksi kotitalouksiin. Kuviossa 1

5 on edelleen esitetty katkaisijan 3 syötön puolelle sovitettut jännitteenmittausvälineet, edullisesti jänniteanturit 5 tai jännitesensorit 5, jotka on sovitettu mittaamaan kunkin vaiheen jännitettä alan ammattimiehelle sinänsä tunnetulla tavalla. Edelleen kuviossa 1 on esitetty katkaisijan 3 kuorman puolelle sovitettut virranmittausvälineet, edullisesti virta-anturit 6 tai virtasensorit 6, jotka on

10 sovitettu mittaamaan kunkin vaiheen virtaa alan ammattimiehelle sinänsä tunnetulla tavalla. Jännite- ja virtamittaustiedot johdetaan ohjauslaitteelle 7, joka on esimerkiksi mikroprosessoripohjainen numeerinen suojarele. Ohjauslaitteessa 7 on näytteenottovälineet jännitteen ja virran hetkellisarvojen näytteistämiseksi jatkuvasta mittaustiedosta sekä yksi tai useampia muistiyksiköitä

15 mitattujen arvojen tallentamiseksi. Ohjauslaitteessa 7 on edelleen prosessointiyksikkö, jossa joko suoraan mitattuja ja/tai välillä muistiin talletettuja mitta-arvoja käsitellään siten, että niitä voidaan esimerkiksi verrata muistiyksikköön talletettuihin raja-arvoihin mahdollisen vian havaitsemiseksi joko johtolähdöllä 2, johon ohjauslaite 7 on sijoitettu, tai jollakin muulla galvaanisesti samaan

20 sähköverkkoon kytketyllä johtolähdöllä. Vian havaitseminen perustuu tyypillisesti joko pelkästään jännitteen mittaukseen tai sekä jännitteen että virran mittaukseen. Vian havaittuaan ohjauslaite 7 lähettää katkaisijalle 3 ohjauskäskyn katkaisijan 3 avaamiseksi. Katkaisija 3 voidaan myös ohjata auki joko manuaalisesti tai automaattisesti myös jonkin muun syyn kuin verkossa esiintyvän

25 vian vuoksi. Ennalta asetellun ajan kuluttua, joka pikajälleenkytkennän yhteydessä voi esimerkiksi olla muutamia sekunnin kymmenyksiä ja aikajälleenkytkennässä tyypillisesti yhdestä kolmeen minuuttia, ohjauslaite 7 lähettää katkaisijalle 3 ohjauskäskyn katkaisijan 3 sulkemiseksi. Tyypillisesti joka kerta kun katkaisija 3 ohjataan kiinni, muuntaja 4 aiheuttaa kytkentävirtasysäyksen, joka

30 aiheuttaa sähköverkkoon sekä termisiä että dynaamisia rasituksia ja joka siten voi johtaa verkon komponenttien tai verkkoon kytkettyjen laitteiden vikaantumiseen.

Keksinnön mukaista ratkaisua muuntajan 4 kytkentävirtasysäyksen minimoimiseksi selitetään seuraavassa kuvioden 2, 3a - 3e ja 4a - 4e avulla.

35 Kuviossa 2 on kaavamaisesti ja esimerkinomaisesti esitetty muuntajan 4 kytkentävirtasysäyksen amplitudi, kun remanenssivuota omaava



- muuntaja 4 kytketään verkkoon eri ajanhetkillä. Pystyakselilla on kytkentävirtasysäyksen amplitudi kiloampeereina kA ja vaaka-akselilla aika sekunteina. Katkaisijan 3 kiinnikytcentähetkeä on varioitu 0,5 millisekunnin välein ajanjaksolla  $t = 0,3 - 0,32$  sekuntia eli yhden verkkojakson aikana verkon käyttötaajuuden ollessa 50 Hz. Kuvion 2 esittämässä tapauksessa suurin kytkentävirtasysäys saavutetaan katkaisijan 3 kiinnikytcentähetkellä  $t = 0,3035$  sekuntia ja pienin kytkentävirtasysäys kiinnikytcentähetkellä  $t = 0,313$  sekuntia.

- Kuvioissa 3a - 3e on esitetty kaavamaisesti muuntajan 4 eri vaiheiden remanenssivoiden ja muuntajan 4 kytkentävirtasysäyksen käyttäytyminen tapauksessa, missä katkaisija 3, joka ajanhetkellä 0,27 sekuntia on alkanut avautua, kytketään kiinni ajanhetkellä  $t = 0,313$  sekuntia eli kiinnikytcentä tapahtuu kuvion 2 pienintä kytkentävirtasysäystä vastaavalla ajanhetkellä. Kuviot 4a - 4e puolestaan kaavamaisesti esittävät vastaavaa tilannetta kytkettäessä katkaisija 3 kiinni ajanhetkellä  $t = 0,3035$  sekuntia eli kuvion 2 suurinta kytkentävirtasysäystä vastaavalla ajanhetkellä. Kuvioissa 3a ja 4a on esitetty vaiheiden A, B ja C syöttövirrat kiloampeereina kA, kuvioissa 3b ja 4b muuntajan A-vaiheen vuo AF ja AF', kuvioissa 3c ja 4c muuntajan B-vaiheen vuo BF ja BF' ja kuvioissa 3d ja 4d muuntajan C-vaiheen vuo CF ja CF' kilowebereinä kWb. Kuviot 3e ja 4e ovat vastaavat kuin kuviot 3a ja 4a, mutta pystyakselin skaalausta on muutettu. Kuvioista 3a ja 4a nähdään, että kolminapaisesti ohjattavaa katkaisijaa 3 käytettäessä vaihevirratt katkeavat aina luonnollisessa nollakohdassaan eli vaiheiden A, B ja C virrat eivät katkea samanaikaisesti. Tässä tapauksessa vaiheen A virta katkeaa ensimmäisenä ja sen jälkeen vaiheiden B ja C virrat samanaikaisesti. Kuvioista 3b - 3d ja 4b - 4d nähdään, että muuntajan 4 sydämeen jäävien vaiheiden A, B ja C remanenssivoiden arvot määräytyvät vaihevirran katkeamishetkellä. Kuvioissa 3b - 3d vaiheen A remanenssivuo on RAF, vaiheen B remanenssivuo RBF ja vaiheen C remanenssivuo RCF. Vastaavat merkinnät kuvioissa 4b - 4d ovat RAF', RBF' ja RCF'. Vaihevuiden AF, AF', BF, BF', CF ja CF' kuvaajia on kuvioissa 3b - 3d ja 4b - 4d jatkettu katkoviivalla katkaisijan 3 avautumisen jälkeen esittämään miten vaihevuot normaalissa tilanteessa käyttäytyisivät, mikäli katkaisijaa 3 ei olisi avattu.

- Kuvioissa 3a ja 4a vaiheen A virta katkeaa ajanhetkellä  $T_A = 0,27025$  sekuntia ja vaiheiden B ja C virta katkeaa ajanhetkellä  $T_B = T_C = 0,27565$  sekuntia. Katkaisija 3 suljetaan tietyn ennalta määrätyn verkkojakson lukumäärän  $n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), kuluttua avautumisestaan. Verkkojakson

kesto aika on 0,02 sekuntia verkkotaajuudella 50 Hz. Jos katkaisijan 3 kiinnikyt kentähetken määrittämiseen käytettäisiin vaiheen A virran katkeamishetkeä  $T_A = 0,27025$  sekuntia ja katkaisijan 3 kiinnikyt kentä sovitettaisiin tapahtumaan kahden verkkojakson kuluttua sen avautumisesta, tulisi kyt kentähetkeksi  $t = 0,31025$  sekuntia. Jos katkaisijan 3 kiinnikyt kentähetken määrittämiseen käytettäisiin B- ja C-vaiheiden virtojen katkeamishetkeä  $T_B = T_C = 0,27565$  sekuntia ja katkaisijan 3 kiinnikyt kentä sovitettaisiin tapahtumaan kahden verkkojakson kuluttua katkaisijan 3 avautumisesta, tulisi kyt kentähetkeksi  $t = 0,31565$  sekuntia. Kuviosta 2 on kuitenkin nähtävissä, että kumpikaan näistä ajanhetkistä ei ole optimaalinen katkaisijan 3 kiinnikyt kentähetki siten, että kyt kentä virtasysäys minimoituisi. Optimaalinen katkaisijan 3 kiinnikyt kentähetki eli se kyt kentähetki, joka minimoi syntyvän kyt kentä virtasysäyksen, perustuu kaikkien vaiheiden A, B ja C virtojen yhteiseen katkeamishetkeen  $T_{ABC}$ , joka voidaan määrittää vaiheiden A, B ja C virtojen katkeamisajanhetkien painotettuna keskiarvona kaavasta

$$T_{ABC} = K_1 T_A + K_2 T_B + K_3 T_C, \quad (1)$$

missä

$T_A$  on sen vaiheen virran katkeamishetki, jonka virta katkeaa ensimmäisenä

$T_B$  on sen vaiheen virran katkeamishetki, jonka virta katkeaa toisena ja

$T_C$  on sen vaiheen virran katkeamishetki, jonka virta katkeaa kolmantena ja

$K_1$ ,  $K_2$  ja  $K_3$  ovat painokertoimia.

$T_{ABC}$  on siis se laskennallinen ajanhetki, jolloin kaikkien vaiheiden A, B, ja C virrat katkeavat. Kolminapaisella katkaisijalla 3 eli kolmivaiheisella katkaisijalla 3, jonka kaikkia vaiheita ohjataan samanaikaisesti, katkaisijan 3 kiinnikyt kentähetken tulee perustua vaiheiden A, B ja C virtojen yhteiseen laskennalliseen katkeamishetkeen  $T_{ABC}$ . Katkaisijan 3 aukikyt kennän jälkeen sen kiinnikyt kentä tapahtuu edullisesti verkkojaksojen kokonaislukua vastaavan ajanjakson jälkeen, jolloin eri vaiheiden A, B ja C virtojen ja jännitteiden vaihe tai amplitudi ja polariteetti vastaavat riittävän tarkasti vastaavia arvoja virran ja jännitteen todellisella katkeamishetkellä, kun katkaisija 3 aukaistiin. Painokertoimien  $K_1$ ,  $K_2$

ja  $K_3$  arvot voivat vaihdella ja käytännössä niiden arvot valitaan riippuen siitä, missä järjestyksessä ja millaisin aikavälein toistensa suhteen vaiheiden A, B, ja C virrat katkeavat. Koska kuvioiden 3a ja 4a esittämässä tilanteessa vaiheiden B ja C virrat katkeavat yhtäaikaan eli  $T_B = T_C$ , sijoittamalla kaavaan (1)  $T_A =$   
 5 0,27025 sekuntia ja  $T_B = T_C = 0,27565$  sekuntia, saadaan  $T_{ABC} = 0,27295$  sekuntia, kun painokertoimien  $K_1$ ,  $K_2$  ja  $K_3$  arvoiksi on saatu myöhemmin esitettävää kaavaa (2) käyttäen  $K_1 = 0,5$ ,  $K_2 = 0,5$  ja  $K_3 = 0$ . Jos katkaisija 3 halutaan ohjata kiinni kahden verkkojakson kuluttua sen avaamisesta, optimaaliseksi katkaisijan 3 kiinnikytkeähetkeksi tulee siten  $T_{OPTIMI} = 0,313$  sekuntia, joka  
 10 vastaa kuvion 2 mukaan muuntajan 4 minimikytkeävirtasysäystä. Sekä kuviota 3a ja 4a että kuviota 3e ja 4e vertailemalla nähdään, että kytkemällä katkaisija 3 kiinni optimiajanhetkellä 0,313 sekuntia, kuviossa 3e syntyvä kytkeävirtasysäys on erittäin pieni verrattuna kuvion 4e esittämään tilanteeseen, missä katkaisijan 3 kiinnikytkeähetki tapahtuu pahimmalla mahdollisella hetkellä.  
 15

Koska vaihevirtojen katkeamishetket määräytyvät verkon maadoitustavan mukaan, niin myös painokertoimien  $K_1$ ,  $K_2$  ja  $K_3$  arvot määräytyvät verkon maadoitustavan perusteella. Kuvioiden 3 ja 4 mukainen esimerkki vastaa tilannetta, missä muuntajan 4 käämikytkentä ensiöpuolella eli katkaisijan 3 puolella on maadoittamaton. Yleisesti ottaen tilanteessa, missä muuntajan 4 ensiöpuolen käämikytkentä on maadoittamaton, eli kytkentä on kolmio-  
 20 kytkentä tai maadoittamaton tähtikytkentä, vaihevirrat katkeavat kuvioiden 3 ja 4 esittämällä tavalla siten, että ensin katkeaa yhden vaiheen virta ja sen jälkeen kahden jäljelle jääneen vaiheen virrat katkeavat samanaikaisesti. Tämä johtuu siitä, että siinä vaiheessa, missä virta katkeaa ensimmäisenä, virta katkeaa luonnollisessa nollakohdassaan ja sen jälkeen kahden muun vaiheen virtojen täytyy katketa samanaikaisesti, koska virtapiiri sulkeutuu ainoastaan vaiheiden kautta. Tilanteessa, missä verkko on maadoitettu ja muuntajan 4 käämikytkentä ensiöpuolella eli katkaisijan 3 puolella on maadoitettu tähtikytkentä, kunkin vaiheen virta katkeaa eriaikaisesti. Tämä johtuu siitä, että siinä  
 30 vaiheessa, missä virta katkeaa ensimmäisenä, virta katkeaa luonnollisessa nollakohdassaan ja sen jälkeen kahden muun vaiheen virta pääsee sulkeutumaan maan kautta. Sekä maadoitetussa että maadoittamattomassa verkossa painokertoimet  $K_1$ ,  $K_2$  ja  $K_3$  voidaan kuitenkin määrittää samalla tavalla kaavasta:  
 35

$$\begin{aligned}
 K_1 &= A_1 (T_B - T_A) / (T_C - T_A) \\
 K_2 &= A_2 \\
 K_3 &= A_3 (T_C - T_B) / (T_C - T_A),
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

- 5 missä kertoimien  $A_1$ ,  $A_2$  ja  $A_3$  arvo voi vaihdella välillä 0,4 - 0,6. Edullisesti kertoimien  $A_1$ ,  $A_2$  ja  $A_3$  arvo on likimain 0,5. Mieluimmin kertoimien  $A_1$ ,  $A_2$  ja  $A_3$  arvo on täsmälleen 0,5. On kuitenkin selvää, että kertoimien  $A_1$ ,  $A_2$  ja  $A_3$  arvot valitaan siten, että painokertoimien  $K_1$ ,  $K_2$  ja  $K_3$  summan arvoksi tulee yksi.

- Edellä esitetty laskenta suoritetaan ohjauslaitteen 7 prosessointiyksikössä, joka on esimerkiksi yleiskäyttöinen mikroprosessori tai erityiskäyttöinen signaaliprosessori. Se aika, kuinka kauan katkaisijaa 3 pidetään auki eli virraton aika, on yleensä asetettu etukäteen ohjauslaitteen 7 muistiin. Kun kyseinen ajanjakso on päättymässä, ohjauslaite 7 antaa katkaisijalle 3 ohjauskäskyn sulkeutua. Koska mekaaniset laitteet, kuten katkaisijat, eivät ole ideaalisia vaan niissä esiintyy aina jonkin verran toimintaviivettä, pitää ohjauskäsky katkaisijan 3 sulkeutumiseksi lähettää katkaisijalle 3 sen toimintaviiveen  $D$  verran aikaisemmin, jotta katkaisija 3 sulkeutuu optimaalisella kytkentähetkellä  $T_{OPTIMI}$ .

- 20 Tiivistetyssä muodossa keksinnön mukainen ratkaisu muuntajan kytkentävirtasysäyksen pienentämiseksi tai minimoimiseksi on seuraavanlainen.

- 1) Virta-antureilla tai -sensoreilla 6 mitataan jatkuvasti muuntajan 4 virtaa.
- 25 2) Katkaisijan 3 aukaisun jälkeen ohjauslaitteen 7 prosessointiyksikkö etsii katkaisijan 3 aukaisun yhteydessä ohjauslaitteen 7 muistiin talletetuista virta-arvoista vaiheiden A, B ja C virtojen katkeamishetket ja määrittää niiden yhteisen laskennallisen katkeamishetken  $T_{ABC}$ .
- 30 3) Katkaisijan 3 optimaalinen kiinnikytkentähetki  $T_{OPTIMI}$  määritetään ohjauslaitteen 7 prosessointiyksikössä kaavasta

$$T_{OPTIMI} = T_{ABC} + n * T, \tag{3}$$

35

missä

5  $n$  on esimerkiksi etukäteen asetettu verkkojaksojen lukumäärä, jonka kuluttua vaihevirtojen yhteisestä laskennallisesta katkeamishetkestä  $T_{ABC}$  katkaisija 3 kytketään kiinni,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ja

$T$  on yhden verkkojakson aika.

10 4) Ohjauslaitteen 7 prosessointiyksikkö lähettää ohjauskäskyn katkaisijan 3 kiinniohjaamiseksi hetkellä

$$T_{ABC} + n * T - D, \quad (4)$$

15 missä

$D$  on katkaisijan 3 toimintaviive.

20 Keksinnön etuna on, että hyvin yksinkertaisella tavalla ja vähäistä laskentakapasiteettia käyttäen voidaan minimoida muuntajan 4 kytkentävir-  
 sysäys kytkettäessä se takaisin jännitteelliseen sähköverkkoon sulkemalla  
 katkaisija 3. Katkaisija 3 voi avautua mielivaltaisella ajanhetkellä, jolloin esi-  
 merkiksi verkossa ilmaantuneen vian aiheuttamat vaikutukset voidaan eh-  
 käistä mahdollisimman nopeasti eikä mitään tahdistettua katkaisijan 3 aukikyt-  
 kentää tarvita. Katkaisijan 3 kiinnikyt kentähetki tahdistetaan siis virran todelli-  
 25 seen katkeamishetkeen eikä mihinkään oletettuun ajanhetkeen kuten tahdis-  
 tetussa aukikyt kennässä.

30 Edellä esitetty ratkaisu on täysin vastaava tilanteessa, missä muuntajan 4 paikalla on kompensointikondensaattori, kondensaattori, imupiiri tai muu varausta sisältävä sähköverkon komponentti. Kuviossa 5 on kaava-  
 maisesti ja esimerkinomaisesti esitetty kondensaattorin kytkentävir-  
 35 tasysäyksen amplitudi, kun jäännösvarausta omaavaa kondensaattoria kytketään jän-  
 nitteelliseen verkkoon eri ajanhetkillä. Katkaisijan kiinnikyt kentähetkeä on vari-  
 oitu 0,5 millisekunnin välein ajanjaksolla  $t = 0,5 - 0,52$  sekuntia eli yhden verk-  
 kojakson aikana verkon käyttötaajuuden ollessa 50 Hz. Kuvion 5 esittämässä  
 35 tapauksessa suurin kytkentävir-  
 tasysäys saavutetaan katkaisijan kiinnikyt ken-

tähetkellä  $t = 0,5055$  sekuntia ja pienin kytkentävirtasysäys kiinnikyt kentähetkellä  $t = 0,5145$  sekuntia.

- Kuvioissa 6a - 6e on esitetty kaavamaisesti kondensaattorin eri vaiheiden jäännösvarauksen ja kytkentävirtasysäyksen käyttäytyminen tapauksessa, missä katkaisija 3, joka on alkanut avautua ajanhetkellä 0,47 sekuntia, kytketään kiinni ajanhetkellä  $t = 0,5145$  sekuntia eli kiinnikyt kentä tapahtuu kuvion 5 pienintä kytkentävirtasysäystä vastaavalla ajanhetkellä. Kuviot 7a - 7e puolestaan kaavamaisesti esittävät vastaavaa tilannetta kytkettäessä katkaisija 3 kiinni ajanhetkellä  $t = 0,5055$  sekuntia eli kuvion 5 suurinta kytkentävirtasysäystä vastaavalla ajanhetkellä. Kuvioissa 6a ja 7a on esitetty vaiheiden A, B ja C virrat kiloampeereina. Kuvioissa 6b ja 7b on esitetty kondensaattorin A-vaiheen jännite VA ja VA', kuvioissa 6c ja 7c kondensaattorin B-vaiheen jännite VB ja VB' ja kuvioissa 6d ja 7d kondensaattorin C-vaiheen jännite VC ja VC' kilovolteina kV. Kuviot 6e ja 7e ovat vastaavat kuin kuviot 6a ja 7a, mutta pysty akselin skaalaus on muutettu niissä suuremmaksi. Kuvioista 6a ja 7a nähdään jälleen, että kolminapaisesti ohjattavan katkaisijan yhteydessä vaihevirrattatkatkeavat eriaikaisesti eli tässä tapauksessa vaiheen A virta katkeaa ensimmäisenä ja sen jälkeen vaiheiden B ja C virrat samanaikaisesti. Kuvioista 6b - 6d ja 7b - 7d nähdään, että kondensaattorin vaiheiden jäännösvarauksien tai jäännös jännitteiden arvot määräytyvät vaihevirtojen katkeamishetkillä. Kuvioissa 6b - 6d kondensaattorin jäännös jännitettä vaiheessa A virran katkaisuhetkellä on merkitty merkinnällä RVA, vaiheessa B RVB ja vaiheessa C RVC. Vastaavat merkinnät kuvioissa 7b - 7d ovat RVA', RVB' ja RVC'. Vaihe jännitteiden VA, VA', VB, VB', VC ja VC' kuvaajia on kuvioissa 6b - 6d ja 7b - 7d jatkettu katkoviivalla katkaisijan avautumisen jälkeen esittämään sitä, miten kondensaattorin vaihe jännitteet normaalissa tilanteessa käyttäytyisivät, mikäli katkaisijaa ei olisi avattu. Kuvioista 6a tai 6e on puolestaan nähtävissä, miten kondensaattorin kytkentävirtasysäys on hyvin minimaalinen, kun kondensaattori kytketään takaisin verkkoon edellä esitetyllä tavalla lasketulla optimikyt kentähetkellä verrattuna kuvion 7a tai 7e esittämään tilanteeseen, missä kondensaattorin verkkoonkytkentä tapahtuu pahimmalla mahdollisella hetkellä.

- Kaikkien vaiheiden yhteiseen laskennalliseen katkeamisajanhetkeen perustuva kiinnikyt kentä sopii käytettäväksi edullisesti silloin, kun katkaisija on kolminapainen eli kaikkien vaiheiden kytkentä tapahtuu yhden yhteisen ohjauskäskyn ohjaamana. Mikäli kolmivaiheverkossa on käytössä katkaisija, jossa jokaista vaihetta ohjataan erikseen, kaavan (1) mukaista kaikkien vai-

heiden yhteistä katkeamisajanhetkeä ei tarvita, vaan kunkin vaiheen kiinnikykentä ajoitetaan kyseisen vaiheen vaihevirran katkeamishetken  $T_i$ ,  $i = A, B$  tai  $C$ , perusteella. Tilanne on vastaava myös yksivaiheverkoissa, missä ainoastaan yhden vaiheen katkaisijaa ohjataan kiinni ja auki.

- 5 Verkon perustaajuus ei välttämättä pysy jatkuvasti samana vaan se voi vaihdella huomattavastikin erilaisissa verkoissa tai käyttötilanteissa. Koska verkkojakson aika  $T$  on verkon perustaajuuden käänteisluku, verkon perustaajuuden vaihtelu aiheuttaa verkkojakson ajan  $T$  vaihtelua, mikä saattaa vaikeuttaa katkaisijan kiinnikykentää optimaalisella kiinnikykentähetkellä. Tällai-
- 10 sen tilanteen välttämiseksi voidaan verkon hetkellinen perustaajuus määrittää esimerkiksi joko jännitteen tai virran mittauksen nollakohtien perusteella ohjauslaitteen 7 prosessointiyksikössä. Tällöin tilanteessa, missä verkon perustaajuus poikkeaa nimellistaajuudesta, verkkojaksoon kuluvana aikana  $T$  voidaan verkon nimellistaajuuden käänteisluvun sijaan käyttää verkon hetkellisen
- 15 taajuuden käänteislukua, jolloin katkaisija 3 voidaan ohjata kiinni optimaalisella kiinnikykentähetkellä verkon taajuuden vaihteluista huolimatta. Riippuen siitä, miten nopeasti verkon perustaajuus voi vaihdella, määritetään verkon hetkellinen perustaajuus tarpeen mukaan joko jatkuvasti tai määrätyn väliajoin.

- 20 Kondensaattorin jäännösvarauksen purkautuminen tapahtuu eksponentiaalisesti. Pikajälleenkytkennän aikana, jossa virraton väliaika on hyvin lyhyt, kondensaattorin jäännösvarauksen purkautumisella ei ole merkitystä. Sama tilanne pätee myös sellaisten aikajälleenkytkentöjen yhteydessä, joissa virraton väliaika on suhteellisen lyhyt. Kondensaattoriparistojen tai imupiirien yhteydessä pitkään kestäväan aikajälleenkytkennän aikana jäännösvaraus pur-
- 25 kautuu tyypillisesti jo siinä määrin, että katkaisijan kiinnikykennän yhteydessä syntyvä kytkentävirtasysäys voi olla merkittävä ellei jäännösvarauksen purkautumista oteta huomioon.

- Sovelluksissa, joissa kondensaattoriparistoa tai imupiiriä kytketään lyhyellä intervallilla verkkoon saavutetaan selkeä etu, koska ratkaisussa käytetään hyväksi kondensaattoriparistoon tai imupiiriin jäänyttä varausta eikä varauksen purkautumista tarvitse odottaa. Itse asiassa kondensaattoriparistoissa tai imupiireissä varauksen purkamiseen käytetty purkausvastus on tässä mie-
- 30 lessä turha. Etuna on myös se, että ratkaisua voidaan soveltaa suoraan jo olemassa oleviin yksi- tai kolminapaisesti ohjattaviin katkaisijoihin.

- 35 Piirustukset ja niihin liittyvä selitys on tarkoitettu vain havainnollistamaan keksinnön ajatusta. Yksityiskohdiltaan keksintö voi vaihdella patentti-

- vaatimusten puitteissa. Niinpä muuntaja voi olla esimerkiksi sähköasemalle tai sähköntuotantolaitokselle sijoitettu suurtehomuuntaja, joka on katkaisijan avulla sovitettu irrotettavaksi muusta sähköverkosta sinänsä tunnetulla tavalla. Edelleen samaa ratkaisua voidaan käyttää hyväksi kuristinten tai muiden ferromagneettista materiaalia sisältävien verkon komponenttien yhteydessä.
- 5 Sähköverkko voi olla yleinen jakeluverkko, teollisuusverkko, laivasähköverkko tai muu sinänsä tunnettu sähkön siirtoon ja jakeluun tarkoitettu verkko ja verkon perustaaajuus voi olla muukin kuin 50 Hz. Edelleen ohjauslaite 7 voi olla pelkästään katkaisijan kiinnikytkemisen ohjaamiseksi tarkoitettu laite, jolloin
- 10 esimerkiksi erillistä suojarelettä käytetään ainoastaan katkaisijan aukiohjaamiseksi. Edullisesti katkaisijan aukiohjaaminen ja kiinniohjaaminen toteutetaan kuitenkin samalla laitteella. Muuntajan ja kondensaattorin tai imupiirin lisäksi ratkaisua voidaan käyttää kytkettäessä jännitteelliseen verkkoon takaisin sellaisia verkon osia, kuten esimerkiksi laajoja kaapeliverkkoja tai -linjoja, joiden
- 15 kapasitanssi on hyvin huomattava.



# Patenttivaatimukset

1. Menetelmä sähköverkon rasitusten pienentämiseksi, jossa menetelmässä minimoidaan jännitteelliseen sähköverkkoon kytkettävän verkkokomponentin tai verkon osan aiheuttamaa kytkentävirtasysäystä, joka verkkokomponentti tai verkon osa erotetaan jännitteellisestä sähköverkosta avaamalla katkaisija (3) ja joka verkkokomponentti tai verkon osa kytketään osaksi jännitteellistä sähköverkkoa sulkemalla katkaisija (3), t u n n e t t u siitä, että mitataan verkkokomponentin tai verkon osan ainakin yhden vaiheen (A, B, C) virtaa,

10 määritetään katkaisijan (3) avauduttua virran katkeamishetki, määritetään katkaisijan (3) optimaalinen kiinnikytkeähetki ( $T_{OPTIMI}$ ) virran katkeamishetken perusteella ja ohjataan katkaisija (3) kiinni siten, että katkaisija (3) sulkeutuu optimaalisella kiinnikytkeähetkellä ( $T_{OPTIMI}$ ).

15 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että sähköverkko on kolmivaiheinen, katkaisija (3) on kolminapaisesti ohjattava, mitataan virta kaikista kolmesta vaiheesta (A, B, C) ja että virran katkeamishetki on kaikkien vaiheiden (A, B, C) virtojen yksi yhteinen laskennallinen katkeamishetki ( $T_{ABC}$ ).

20 3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että virtojen yhteinen laskennallinen katkeamishetki ( $T_{ABC}$ ) on virtojen katkeamishetkien ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) painotettu keskiarvo, joka lasketaan kaavasta

$$T_{ABC} = K_1 T_A + K_2 T_B + K_3 T_C,$$

25 missä

$T_{ABC}$  on virtojen yhteinen laskennallinen katkeamishetki,

$T_A$  on virran katkeamishetki siinä vaiheessa, missä virta katkeaa ensimmäisenä,

30  $T_B$  on virran katkeamishetki siinä vaiheessa, missä virta katkeaa toisena,

$T_C$  on virran katkeamishetki siinä vaiheessa, missä virta katkeaa viimeisenä ja

$K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  ovat painokertoimia.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että virtojen katkeamishetkiä ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) painokertoimet ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ) määritetään kaavasta

$$\begin{aligned} K_1 &= A_1 (T_B - T_A) / (T_C - T_A) \\ K_2 &= A_2 \\ K_3 &= A_3 (T_C - T_B) / (T_C - T_A). \end{aligned}$$

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että  $A_1 = 0,4 - 0,6$ ,  $A_2 = 0,4 - 0,6$  ja  $A_3 = 0,4 - 0,6$ , edullisesti  $A_1 \approx 0,5$ ,  $A_2 \approx 0,5$  ja  $A_3 \approx 0,5$ .

10 6. Jonkin patenttivaatimuksen 2 - 5 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että optimaalinen katkaisijan (3) kiinnikytöntähetki on

$$T_{OPTIMI} = T_{ABC} + n * T,$$

missä

15  $T_{OPTIMI}$  on katkaisijan (3) optimaalinen kiinnikytöntähetki,  
 $n$  on kokonaisten verkkojaksojen lukumäärä, minkä kulluttua vaihevirtojen yhteisestä laskennallisesta katkeamishetkestä ( $T_{ABC}$ ) katkaisija (3) kytketään kiinni,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ja  
 $T$  on yhden verkkojakson aika.

20 7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että annetaan ohjaukskäsky katkaisijan (3) kiinniohjaamiseksi hetkellä

$$T_{ABC} + n * T - D$$

missä

$D$  on katkaisijan (3) toimintaviive.

25 8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että sähköverkko on kolmivaiheinen, katkaisija (3) on yksinapaisesti ohjattava, mitataan virta kaikista kolmesta vaiheesta (A, B, C), määritetään kaikkien vaiheiden (A, B, C) virtojen katkeamishetket ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) ja ohjataan katkaisija (3) kiinni siten, että kussakin vaiheessa (A, B, C) katkaisija (3) sulkeutuu hetkellä

$$30 \quad T_{OPTIMI} = T_i + n * T,$$

missä

$T_i$  on yksittäisen vaiheen (A, B, C) virran katkeamishetki,  $i = A, B$  tai  $C$ ,

$n$  on kokonaisten verkkojaksojen lukumäärä, minkä kulluttua vaihevirran katkeamishetkestä ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) katkaisija (3) kytketään kiinni,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ja

$T$  on yhden verkkojakson aika.

- 5 9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että sähköverkko on yksivaiheinen ja että katkaisija (3) ohjataan kiinni siten, että katkaisija (3) sulkeutuu hetkellä

$$T_{\text{OPTIMI}} = T_i + n * T,$$

missä

- 10  $T_i$  on vaiheen (A, B, C) virran katkeamishetki,  $i = A, B$  tai  $C$ ,
- $n$  on kokonaisten verkkojaksojen lukumäärä, minkä kulluttua vaihevirran katkeamishetkestä ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) katkaisija (3) kytketään kiinni,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ja
- 15  $T$  on yhden verkkojakson aika.

- 20 10. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lisäksi mitataan ainakin yhden vaiheen (A, B, C) jännitettä, määritetään verkon hetkellinen perustaajuus joko jännitteen tai virran mittauksen perusteella ja määritetään verkkojakson aika ( $T$ ) verkon hetkellisen perustaajuuden käänteislukuna.

11. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että verkkokomponentti on muuntaja (4), kuristin tai muu ferromagneettista materiaalia sisältävä sähköverkon komponentti.

- 25 12. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että verkkokomponentti on kondensaattori, kompensointikondensaattori, imupiiri tai muu varausta sisältävä sähköverkon komponentti.

13. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että verkon osa on kaapelijohto tai -verkko.

- 30 14. Sovitelma sähköverkon räsitusten pienentämiseksi, johon sovitelmaan kuuluu katkaisija (3) ja joka sovitelma on sovitettu minimoimaan jännitteelliseen sähköverkkoon kytkettävän verkkokomponentin tai verkon osan aiheuttamaa kytkentävirtasysäystä, joka verkkokomponentti tai verkon osa on sovitettu erotettavaksi jännitteellisestä sähköverkosta avaamalla katkaisija (3) ja joka verkkokomponentti tai verkon on sovitettu kytkettäväksi osaksi jännit-

teellistä sähköverkkoa sulkemalla katkaisija (3), t u n n e t t u siitä, että sovitelmaan kuuluu edelleen

välineet verkkokomponentin tai verkon osan ainakin yhden vaiheen (A, B, C) virran mittaamiseksi,

5 välineet katkaisijan (3) avauduttua virran katkeamishetken määrittämiseksi,

välineet katkaisijan (3) optimaalisen kiinnikytöntähetken ( $T_{OPTIMI}$ ) määrittämiseksi virran katkeamishetken perusteella ja

10 välineet katkaisijan (3) kiinniohjaamiseksi siten, että katkaisija (3) sulkeutuu optimaalisella kiinnikytöntähetkellä ( $T_{OPTIMI}$ ).

15 15. Patenttivaatimuksen 14 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että sähköverkko on kolmivaiheinen, katkaisija (3) on kolminapaisesti ohjattava, virta on sovitettu mitattavaksi kaikista kolmesta vaiheesta (A, B, C) ja että virran katkeamishetki on kaikkien vaiheiden (A, B, C) virtojen yksi yhteinen laskennallinen katkeamishetki ( $T_{ABC}$ ).

16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että virtojen yhteinen laskennallinen katkeamishetki ( $T_{ABC}$ ) on virtojen katkeamishetkien ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) painotettu keskiarvo, joka on sovitettu laskettavaksi kaavasta :

20 
$$T_{ABC} = K_1 T_A + K_2 T_B + K_3 T_C,$$

missä

25  $T_{ABC}$  on virtojen yhteinen laskennallinen katkeamishetki,  
 $T_A$  on virran katkeamishetki siinä vaiheessa, missä virta katkeaa ensimmäisenä,

$T_B$  on virran katkeamishetki siinä vaiheessa, missä virta katkeaa toisena,

$T_C$  on virran katkeamishetki siinä vaiheessa, missä virta katkeaa viimeisenä ja

30  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  ovat painokertoimia.

17. Patenttivaatimuksen 16 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että virtojen katkeamishetkien ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) painokertoimet ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ) on sovitettu määritettäväksi kaavasta

$$K_1 = A_1 (T_B - T_A) / (T_C - T_A)$$

$$K_2 = A_2$$

$$K_3 = A_3 (T_C - T_B) / (T_C - T_A).$$

18. Patenttivaatimuksen 17 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että  $A_1 = 0,4 - 0,6$ ,  $A_2 = 0,4 - 0,6$  ja  $A_3 = 0,4 - 0,6$ , edullisesti  $A_1 \approx 0,5$ ,  $A_2 \approx 0,5$  ja  $A_3 \approx 0,5$ .

19. Jonkin patenttivaatimuksen 15 - 18 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että optimaalinen katkaisijan (3) kiinnikytöntähetki on

$$T_{\text{OPTIMI}} = T_{\text{ABC}} + n * T,$$

missä

10  $T_{\text{OPTIMI}}$  on katkaisijan (3) optimaalinen kiinnikytöntähetki,  
 $n$  on kokonaisten verkkojaksojen lukumäärä, minkä kulluttua vaiheiden (A, B, C) virtojen yhteisestä laskennallisesta katkeamishetkestä ( $T_{\text{ABC}}$ ) katkaisija (3) kytetään kiinni,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ja  
 15  $T$  on yhden verkkojakson aika.

20. Patenttivaatimuksen 19 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että ohjauskäsky katkaisijan (3) kiinniohjaamiseksi on sovitettu annettavaksi hetkellä

$$T_{\text{ABC}} + n * T - D$$

20 missä

$D$  on katkaisijan (3) toimintaviive.

21. Patenttivaatimuksen 14 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että sähköverkko on kolmivaiheinen, katkaisija (3) on yksinapaisesti ohjattava, virta on sovitettu mitattavaksi kaikista kolmesta vaiheesta (A, B, C), kaikkien  
 25 vaiheiden (A, B, C) virtojen katkeamishetket ( $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) on sovitettu määritettäväksi ja katkaisija (3) on sovitettu ohjattavaksi kiinni siten, että kussakin vaiheessa (A, B, C) katkaisija (3) sulkeutuu hetkellä

$$T_{\text{OPTIMI}} = T_i + n * T,$$

missä

30  $T_i$  on yksittäisen vaiheen (A, B, C) virran katkeamishetki,  
 $i = A, B$  tai  $C$ ,  
 $n$  on kokonaisten verkkojaksojen lukumäärä, minkä kulluttua vaiheen (A, B, C) virran katkeamishetkestä ( $T_A$ ,

$T_B, T_C$ ) katkaisija (3) on sovitettu kytkettäväksi kiinni,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ja

$T$  on yhden verkkojakson aika.

22. Patenttivaatimuksen 14 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että sähköverkko on yksivaiheinen ja että katkaisija (3) on sovitettu ohjattavaksi kiinni siten, että katkaisija (3) sulkeutuu hetkellä

$$T_{\text{OPTIMI}} = T_i + n \cdot T,$$

missä

- $T_i$  on vaiheen (A, B, C) virran katkeamishetki,  
 $i = A, B$  tai  $C$ ,  
 $n$  on kokonaisten verkkojaksojen lukumäärä, minkä kulluttua vaihevirran katkeamishetkestä ( $T_A, T_B, T_C$ ) katkaisija (3) kytketään kiinni,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ja  
 $T$  on yhden verkkojakson aika.

23. Jonkin patenttivaatimuksen 14 - 22 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että sovitelmaan kuuluu edelleen välineet ainakin yhden vaiheen (A, B, C) jännitteen mittaamiseksi, välineet verkon hetkellisen perustaajuuden määrittämiseksi joko jännitteen tai virran mittauksen perusteella ja välineet verkkojakson ajan ( $T$ ) määrittämiseksi verkon hetkellisen perustaajuuden käänteislukuna.

24. Jonkin patenttivaatimuksen 14 - 23 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että verkkokomponentti on muuntaja (4), kuristin tai muu ferromagneettista materiaalia sisältävä sähköverkon komponentti.

25. Jonkin patenttivaatimuksen 14 - 23 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että verkkokomponentti on kondensaattori, kompensointikondensaattori, imupiiri tai muu varausta sisältävä sähköverkon komponentti.

26. Jonkin patenttivaatimuksen 14 - 25 mukainen sovitelma, t u n n e t t u siitä, että verkon osa on kaapelijohto tai -verkko.

## (57) Tiivistelmä

Menetelmä ja sovitelma sähköverkon raskautusten pienentämiseksi. Menetelmässä ja sovitelmassa minimoidaan jännitteelliseen sähköverkkoon kytkettävän verkkokomponentin tai verkon osan aiheuttamaa kytkentävirtasysäystä, joka verkkokomponentti tai verkon osa erotetaan jännitteellisestä sähköverkosta avaamalla katkaisija (3) ja joka verkkokomponentti tai verkon kytketään osaksi jännitteellistä sähköverkkoa sulkemalla katkaisija (3). Ratkaisun mukaan mitataan verkkokomponentin tai verkon osan ainakin yhden vaiheen (A, B, C) virtaa, määritetään katkaisijan (3) avauduttua virran katkeamishetki, määritetään katkaisijan (3) optimaalinen kiinnikytkentähetki ( $T_{OPTIMI}$ ) virran katkeamishetken perusteella ja ohjataan katkaisija (3) kiinni siten, että katkaisija (3) sulkeutuu optimaalisella kiinnikytkentähetkellä ( $T_{OPTIMI}$ ).

(Kuvio 1)

/

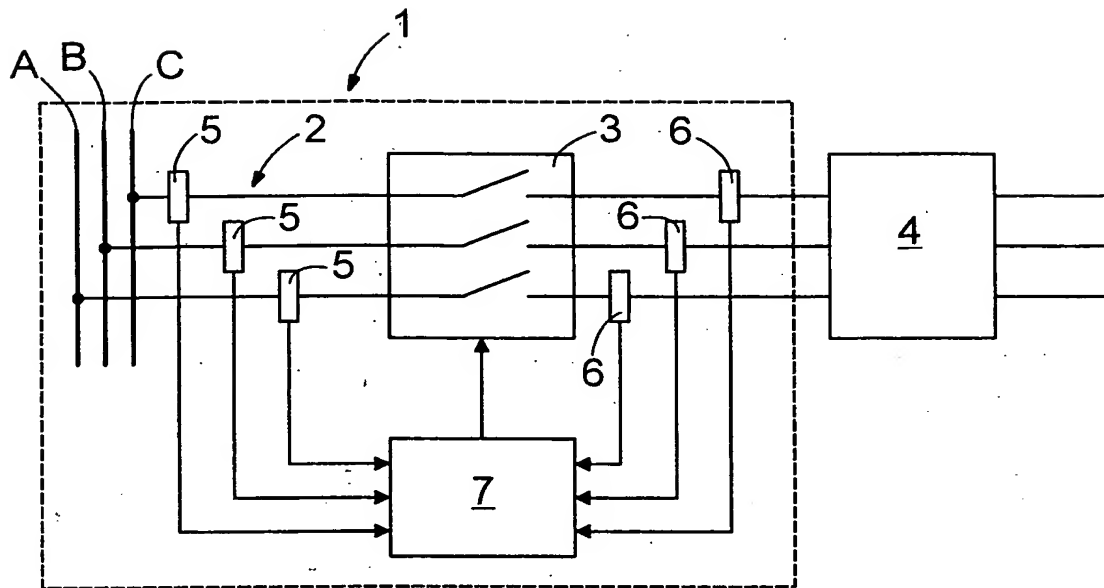


FIG. 1



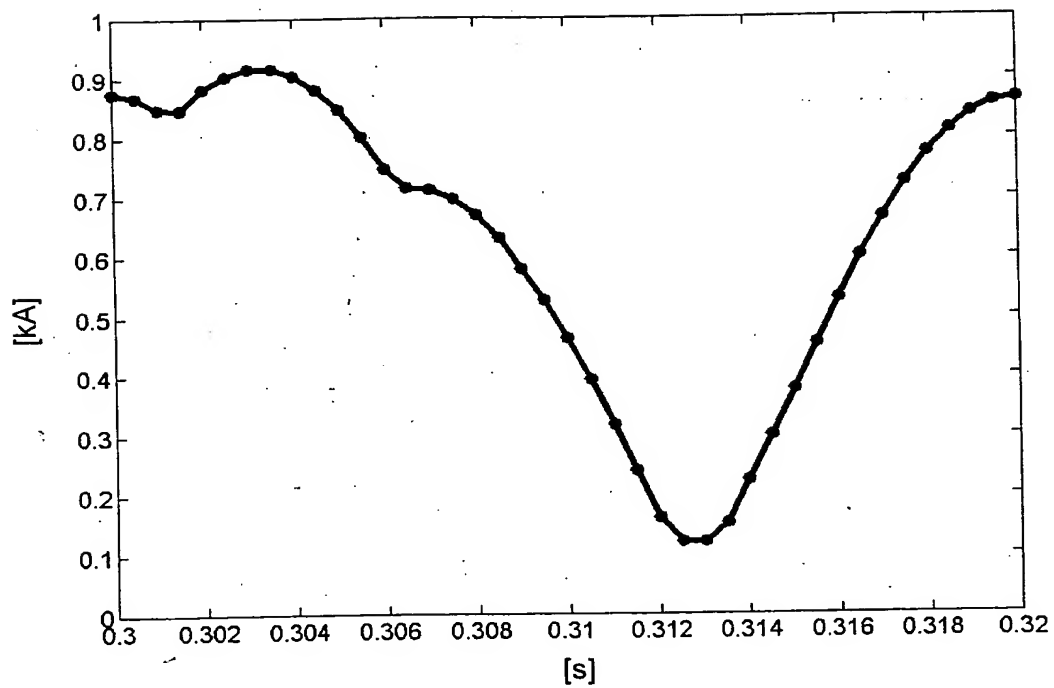


FIG. 2

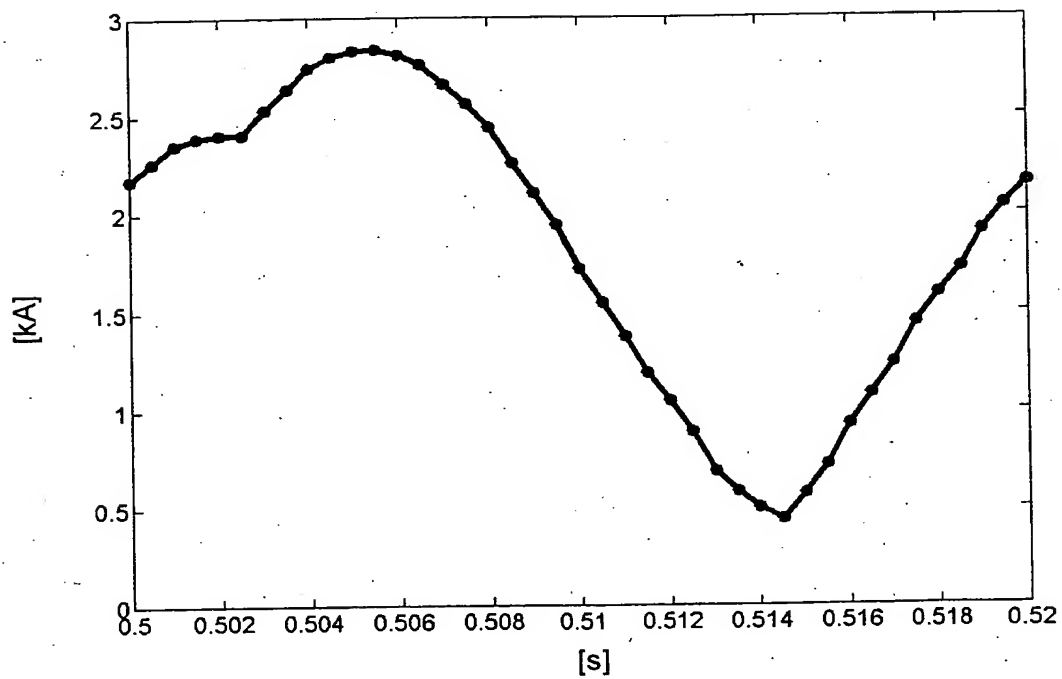


FIG. 5

